

衝突蒸気雲の気相化学分析手法を開発

—二段式軽ガス衝撃銃の 50 年来の弱点を克服—

ポイント

- ・ 太陽系の岩石天体同士の衝突速度は秒速数 km 以上。このような高速度天体衝突時には揮発性成分を含む岩石からの「衝突脱ガス」が起こると予測されてきた。
- ・ 二段式軽ガス衝撃銃は衝突現象を調べるための理想的な加速器であるが、飛翔体加速時に発生する化学汚染ガスによって衝突脱ガス現象を調べることはできなかった。
- ・ 化学汚染ガスを遮断しつつ、衝突発生ガスをその場化学分析する新手法「2バルブ法」を開発。
- ・ 火星で実際に発見されている岩塩、二水石膏を用いた衝突実験を実施。火星への典型的な天体衝突時にこれらの鉱物から脱ガスが起こることを実証。衝突化学研究への扉を開くことに成功した。

<概要>

太陽系の岩石天体同士の衝突速度は秒速数 km 以上に及びます。このような高速度衝突が起こると、衝突地点の岩石は加熱され、含まれていた水蒸気や有機物などの揮発性成分が失われます。この現象は「衝突脱ガス」と呼ばれ、地球の大気、海の発生や、6500 万年前の恐竜絶滅事件に代表される環境大変動の原因として古くから研究されてきました。研究を推進する上で、二段式軽ガス衝撃銃は理想的な装置(※注 1)です。天体衝突で発生する超高圧・高温条件を再現するためには、実際に高速飛翔体を衝突させることが最も有効な手段であるからです。ところが、二段式軽ガス衝撃銃には加速時に発生する化学汚染ガスが実験系を汚染(※注 2)してしまうという問題がありました。これが致命的な弱点となり、50 年に渡る衝突脱ガス研究の中で、これまでに二段式軽ガス衝撃銃が用いられることはありませんでした(※注 3)。

千葉工業大学 惑星探査研究センターの黒澤耕介 首席研究員を中心とする研究チーム(千葉工業大学、ダナンツィオ大学、JAXA、物質・材料研究機構、広島大学)は、二段式軽ガス衝撃銃の化学汚染問題を解決し、化学汚染の影響を受けずに衝突発生ガスを分析する新手法、「2バルブ法」を開発しました。2つのバルブと二段式軽ガス衝撃銃を信号制御で連携させ、銃由来の化学汚染ガスを遮断しつつ、衝突発生ガスをガス分析装置に導入します(図 1)。この手法を用いることで実験真空槽に侵入してしまう装置由来の化学汚染ガスを飛翔体質量の 0.01-0.1%まで抑えることに成功しました。

研究チームは 2バルブ法を用いて、過去に干上がった火星の古塩湖への天体衝突を想定し、岩塩と二水石膏を用いた衝突脱ガス実験を実施しました。その結果、火星への典型的な衝突の際に岩塩からは NaCl の蒸気が、二水石膏からは水蒸気が発生することを実証しました(図 2)。この結果は古塩湖に固定された揮発性成分が天体衝突によって再び大気水圏に戻されることを意味しており、天体衝突が火星上での物質循環・化学反応を促すことを示唆します。新手法はその他の標的にそのまま適用することができ、衝突発生ガスを分析することができます。2020 年末には「はやぶさ 2」がリュウグウの試料を持ち帰ります。リュウグウもしくはその母天体は衝突脱ガスを経験している可能性があります。今後はリュウグウを想定した模擬物質への衝突脱ガス実験も実施する予定です。これはリュウグウからの回収試料の衝撃変成の痕跡を紐解くときに不可欠な基礎データとなることが期待されます。

研究成果は、7 月 4 日付の米国科学雑誌「*Geophysical Research Letters*」電子版に掲載されます。

【図】

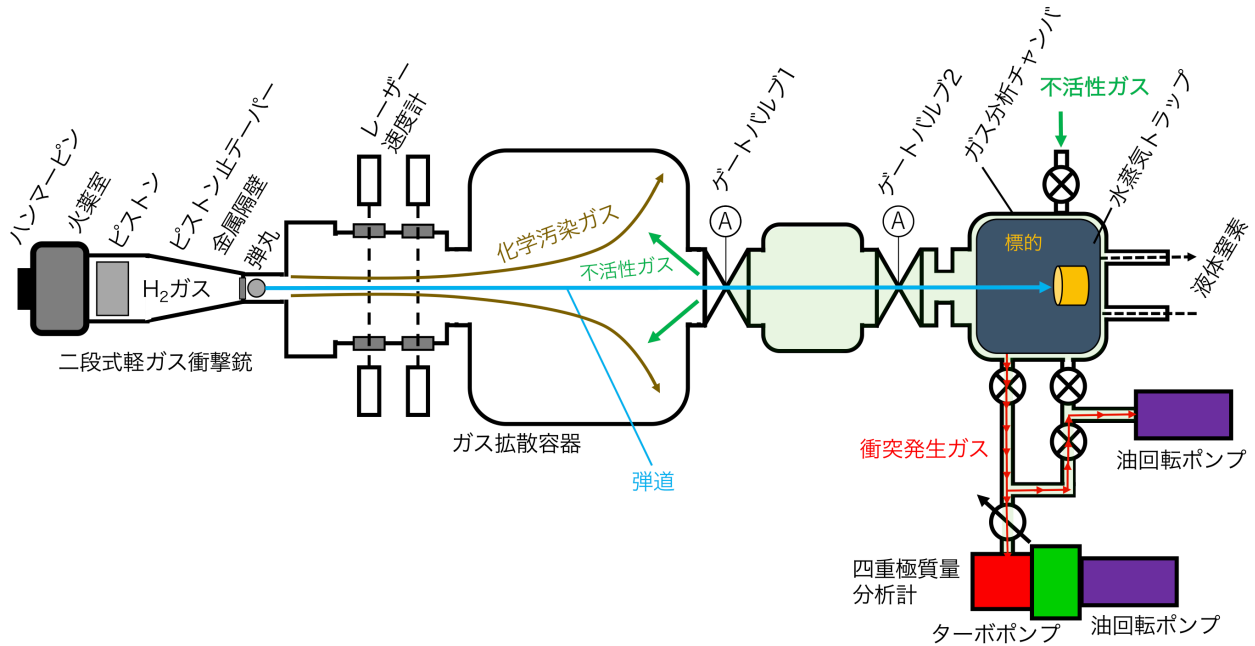


図1. 千葉工業大学 惑星探査研究センターに設置されている高速度衝突実験装置の概略図。今回開発した2バルブ法は2つのゲートバルブと二段式水素ガス銃を事前検討と予備実験で決定した時間差をつけて信号制御します。これにより銃由来の化学汚染ガスを遮断し、衝突発生ガスのみを四重極質量分析計(ガス分析装置)に送り計測することを可能にしました。

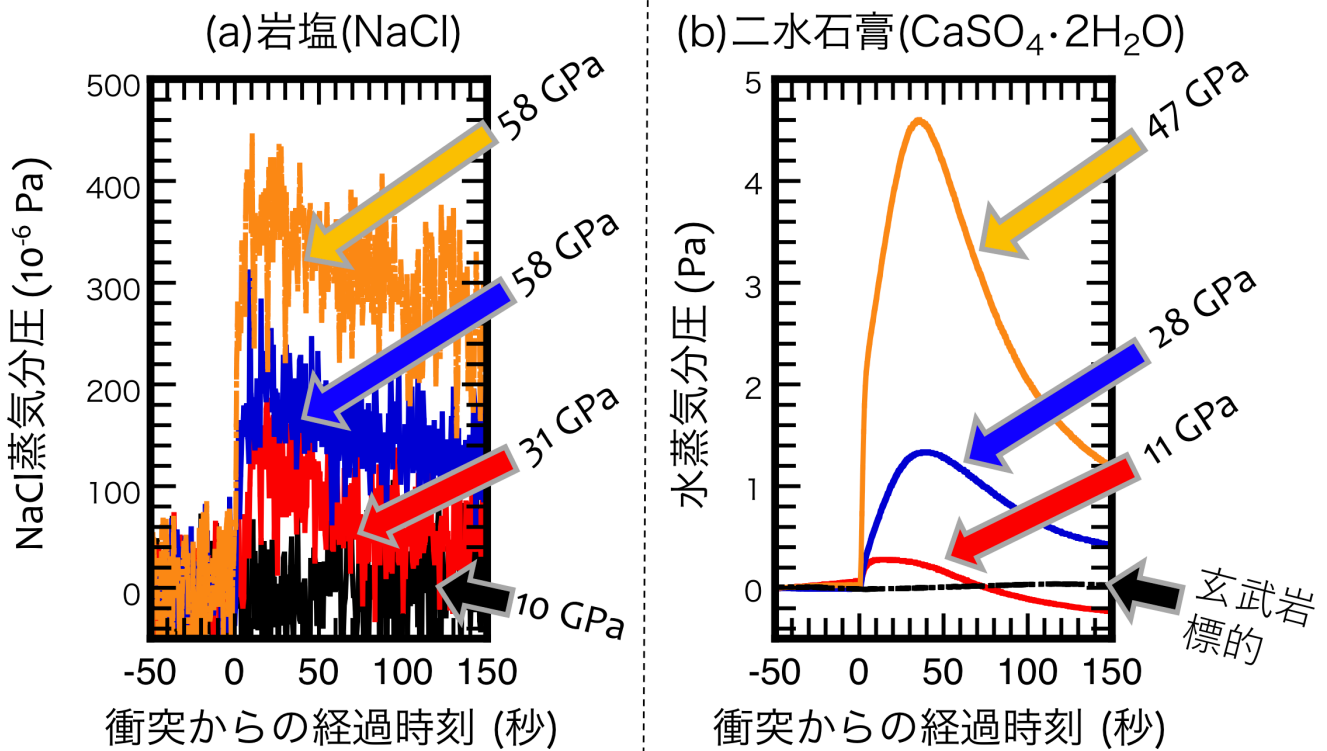


図2. ガス分析結果の例。(a)岩塩を標的にした場合に発生したNaCl蒸気分圧の変化。(b)二水石膏を標的にした場合に発生した水蒸気分圧の変化。線の違いは衝突直下点に発生した圧力。1 GPa = 1万気圧。この結果から岩塩は31万気圧、二水石膏は11万気圧の衝撃圧力がかかった場合にガスを放出することがわかります。この衝撃圧力は火星への典型的な天体衝突条件で容易に達成されます。二水石膏を用いた実験では試料以外から水蒸気が放出された可能性を排除するため、水を含まない玄武岩試料を用いた実験を実施し、水蒸気が放出されないことを確かめています。

<注釈>

※1. 二段式軽ガス衝撃銃は巨視的(直径>0.1 mm)かつ標準状態(大気圧、室温)にある飛翔体を秒速数 km まで加速できる装置です。千葉工業大学惑星探査研究センターでは直径 4.8 mm までの任意のサイズの飛翔体を~7 km/s まで加速することができます(定常運転の場合)。その他に電磁銃、静電加速器、レーザー銃といった装置がありますが、達成できる速度の制限、加速できる飛翔体サイズの制限、飛翔体の加熱問題などそれぞれに弱点がありました。二段式軽ガス衝撃銃はこれらの装置に対して達成できる飛翔体速度が若干遅いという弱点がありますが、標準状態にある巨視的な飛翔体を加速できることからデータの質が高く、理論計算との比較も容易であるという利点があります。

※2. 二段式軽ガス衝撃銃は飛翔体加速のために少量の火薬、水素ガス、プラスチック製の飛翔体ケース(サボ)を使用します。飛翔体加速後にプラスチックケースは分離され、標的衝突前にサボストッパーと呼ばれる板に衝突します。このときサボの一部が蒸発して炭化水素系のガスが発生します。したがって飛翔体は火薬燃焼ガス、水素ガス、炭化水素ガスとともに実験用真空槽に侵入します。ここでは火薬燃焼ガス、水素ガス、炭化水素ガスを合わせて「化学汚染ガス」と呼んでいます。

※3. 装置由来の化学汚染を防ぐため、主に標的をステンレスコンテナに封入し、二段式軽ガス衝撃銃で加速した金属飛翔体を衝突させるという閉鎖系衝突実験が主に行われていました。閉鎖系で達成される温度圧力条件は天然衝突でのそれとは大きく異なり、実験結果をそのまま天然衝突に適用することはできません。開放系衝突実験を行う必要がありますが、これまでは化学汚染のため二段式軽ガス衝撃銃を使用できませんでした。

<掲載論文>

Kosuke Kurosawa, Ryota Moriwaki, Goro Komatsu, Takaya Okamoto, Hiroshi Sakuma, Hikaru Yabuta, and Takafumi Matsui, Shock vaporization/devolatilization of evaporitic minerals, halite and gypsum, in an open system investigated by a two-stage light gas gun, *Geophysical Research Letters*, <https://doi.org/10.1029/2019GL083249>, 2019.

<お問い合わせ先>

黒澤 耕介 (くろさわ こうすけ)

千葉工業大学 惑星探査研究センター 上席研究員

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

TEL: 047-478-4386 もしくは 047-478-0320

FAX : 047-478-0372

E-Mail: kosuke.kurosawa@perc.it-chiba.ac.jp

藪田 ひかる (やぶた ひかる)

広島大学 大学院理学研究科地球惑星システム学専攻 教授

〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1

TEL: 082-424-7474, FAX: 082-424-0735

E-Mail: hyabuta@hiroshima-u.ac.jp